

## پاسخ های مورفولوژیک و بیوشیمیایی گیاه ریحان تحت تیمار نور ماورای بنفش-B و کم آبیاری در شرایط گلخانه

وحید احمد محمدی<sup>۱</sup>، حسین زارعی<sup>۱\*</sup> و سید جواد موسوی زاده<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۴/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۹/۲۰)

### چکیده

از عوامل تأثیرگذار بر فرایند رشد و نمو گیاه، تنش های محیطی مانند کم آبیاری و اشعه ماورای بنفش است. از بین متغیرهای محیطی، پرتو ماورای بنفش عامل مهمی در پاسخ گیاه در برابر تنش های دیگری مانند کم آبیاری است. هدف از این پژوهش، بررسی برهمکنش طول مدت تابش نور ماورای بنفش B و تنش کم آبیاری بر پاسخ های مورفولوژیک و بیوشیمیایی دو رقم ریحان است. در این پژوهش، پنج تیمار برای طول مدت تابش نور ماورای بنفش (صفر، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه در روز) و چهار سطح آبیاری (۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۳۰ درصد گنجایش زراعی) در دو رقم ریحان سبز و بنفش، براساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که طول مدت تابش اشعه ماورای بنفش، تنش کم آبیاری و برهمکنش آنها بر پاسخ های مورفولوژیک و بیوشیمیایی هر دو رقم ریحان اثرگذار است. در بیشترین میزان تابش اشعه ماورای بنفش (۲۰ دقیقه در روز) صفات اندازه گیری شده مانند رنگبندی فتوسنتزی ۱۸/۲ درصد، ارتفاع ساقه ۱۱/۲ درصد و طول ریشه ۱۰/۱ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت و صفات دیگر مانند ضخامت برگ ۳۲/۳ درصد، میزان محتوای مالون دی آلدئید ۷/۶ درصد، آنتوسیانین ۴۰/۶ درصد و پرولین ۱۹/۱ درصد نسبت به شاهد افزایش معنی دار داشت. در حالی که سطح برگ، تعداد برگ، وزن خشک ریشه و ساقه در اثر طول مدت تابش، نسبت به شاهد ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. طول مدت تابش ۵ دقیقه سبب افزایش ۵/۸، ۹/۳ و ۱۰/۰ درصد به ترتیب در وزن خشک ساقه، سطح برگ و تعداد برگ نسبت به شاهد شد. تنش کم آبیاری در حدود ۴۶/۳ درصد اثر بیشتری نسبت به تابش پرتو ماورای بنفش در کاهش صفات اندازه گیری شده ریحان داشت. با کاربرد توأم پرتو ماورای بنفش و کم آبیاری، از کاهش شاخص های رشدی در اثر تنش کم آبیاری جلوگیری شد که حالت هم افزایی را نشان می دهد.

واژه های کلیدی: آنتوسیانین، تنش خشکی، سطح برگ، کلروفیل، پرتو ماورای بنفش

### مقدمه

شرایط نامساعد محیطی را مقاومت به تنش می گویند (۱۳).

تنش های غیرزیستی مانند خشکی، شوری، گرما، پرتو UV-B و شرایط غرقابی با اثر بر فرایندهای مورفولوژیک، فیزیولوژیک،

شرایط نامساعد محیطی که زندگی جانداران را تحت تأثیر قرار می دهد را تنش گفته و پایداری یک موجود زنده در برابر

۱. گروه علوم باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hosszareei@yahoo.co.uk

و بیوشیمیایی کاهش می‌یابند. دوران رشد نیز در گیاه ریحان از لحاظ پاسخ به پرتو ماورای بنفش متفاوت است. به طوری که در مرحله ۳-۴ برگه‌شدن، تابش پرتو ماورای بنفش باعث افزایش پارامترهای رشدی و ویژگی‌های بیوشیمیایی ریحان می‌شود. ولی در مرحله گل‌دهی، تابش پرتو ماورای بنفش، ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی را کاهش می‌دهد (۲۵). تابش پرتو ماورای بنفش با ایجاد واکنش در گیاه می‌تواند بر واکنش‌های کلی در برابر تنش‌های ایجادشده اثرگذار باشد و در گیاه واکنش بیشتری برای پاسخ به شرایط نامساعد ایجاد کند (۱۰ و ۱۶).

برخی از پژوهشگران اثبات کرده‌اند که برهمکنش تنش خشکی و پرتو UV-B بر گیاهان اثر معنی‌دار دارد. به طوری که این پرتوها می‌توانند شدت اثر تنش خشکی بر گیاهان را از طریق کاهش میزان از دست دادن آب گیاه، با کاهش هدایت روزنه‌ای و سطح برگ، کاهش دهند. بررسی اثر برهمکنش پرتو UV-B و تنش خشکی بر کدو نشان داد که UV-B و خشکی با هم اثر هم‌افزایی داشتند. به طوری که یکی از آنها می‌تواند پیامدهای بازدارندگی دیگری را کاهش دهد (۱۸). بررسی برهمکنش پرتو UV و تنش خشکی در کاهو نیز نشان داد که این دو تنش در برخی از مواقع اثر هم‌افزایی و در مواقع دیگر اثر غیرهم‌افزایی در گیاه دارند که وابسته به مکانیزم القای مواد حفاظتی در گیاه است (۴۲).

ریحان با نام علمی *Ocimum basilicum* گیاهی یک‌ساله و متعلق به تیره نعنائیان (*Lamiaceae*) است. این گیاه به‌عنوان گیاه دارویی، ادویه‌ای و همچنین به‌صورت سبزی تازه مورد استفاده قرار می‌گیرد. منشأ این گیاه هند، ایران و افغانستان گزارش شده است (۳۹). ریحان گیاهی روزبلند و حساس به سرما است که به‌خوبی در خاک‌های مرطوب با زهکشی مناسب و در نور کامل خورشید رشد می‌کند. اما شرایط خشکی زیاد را نمی‌تواند تحمل کند (۵۳). ارقام ریحان در رنگ برگ (سبز و بنفش)، رنگ گل (سفید، قرمز و بنفش)، اسانس و همچنین ویژگی‌های رشدی تنوع دارند (۱۵ و ۴۴).

بیوشیمیایی و مولکولی، پتانسیل تولید و عملکرد گیاهان را تغییر می‌دهند (۲۶ و ۴۱). در این بین، خشکی باعث کاهش پتانسیل آب در گیاه شده و فشار آماس را کاهش می‌دهد. گیاهان، زمانی که مقدار آب قابل دسترس در منطقه جذب ریشه محدود شود و یا میزان تعرق بیشتر از جذب باشد، با تنش آب مواجه می‌شوند. در شرایط کمبود آب، علاوه بر کاهش پتانسیل آب و فشار آماس، روزنه‌ها نیز بسته می‌شوند که کاهش تبادل گازی و جذب کربن و در نتیجه کاهش فتوسنتز را به‌همراه دارد (۲۱ و ۳۴). یکی از مکانیزم‌های کارآمد که گیاه هنگام مواجه‌شدن با تنش خشکی برای حفظ فشار آماس از خود بروز می‌دهد تنظیم اسمزی است که در اثر انباشت یک‌سری از مواد (مانند کاتیون‌های پتاسیم، سدیم و کلسیم)، قندها، اسیدهای آمینه (پرولین) و همچنین اسیدهای آلی، پتانسیل اسمزی سلول‌های تحت تنش را کاهش می‌دهد (۱ و ۴۷).

سه نوع پرتو ماورای بنفش وجود دارد: پرتو UV-A که دارای طول موج ۳۲۰-۴۰۰ نانومتر بوده و برخی از فرایندهای فیزیولوژیک را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ ولی سلول‌کش مؤثری نیست. UV-B که دارای طول موج ۲۸۰-۳۲۰ نانومتر است، مهم‌ترین پرتو بوده که فیلتر طبیعی آن را لایه اُزون تشکیل می‌دهد و با افزایش ارتفاع و عرض جغرافیایی، شدت آن نیز افزایش می‌یابد. UV-C دارای طول موج ۲۸۰-۱۹۰ نانومتر بوده و به‌شدت کشنده سلول است؛ اما در اتمسفر به‌وسیله اُزون و اکسیژن جذب می‌شود و در محیط عامل مخربی به‌حساب نمی‌آید (۵، ۲۷ و ۳۷). پرتوهای ماورای بنفش در کل باعث اختلال و تخریب فتوسیستم ۲، کاهش فعالیت روبیسکو و عمل کمپلکس تجزیه‌کننده آب می‌شوند (۲۲). پرتو UV-B نه تنها بر فرایندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی اثر می‌گذارد، بلکه باعث کاهش ارتفاع و سطح برگ و افزایش ضخامت برگ‌ها می‌شود (۲۳). جورگا و همکاران (۲۵) دریافتند که استفاده از پرتو UV-B با شدت ضعیف و کوتاه‌مدت باعث افزایش پارامترهای رشدی و ویژگی‌های بیوشیمیایی در ریحان می‌شود. ولی با افزایش شدت و مدت تابش، پارامترهای رشدی

زراعی و روش وزنی در چهار سطح (۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۳۰ درصد گنجایش زراعی) اعمال شد. برای اندازه‌گیری گنجایش زراعی (FC)، ابتدا یک نمونه از خاک مورد نظر با آب اشباع شد و سپس در داخل چهار لوله آزمایش در دستگاه سانتیفریوژ با ۴۹۰۰ دور سانتیفریوژ شد تا آب ثقلی آن جدا شود (۳۸). پس از جداشدن آب ثقلی، خاک درون لوله‌ها وزن شد و سپس در آن به مدت ۲۴ ساعت و در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس خشک شد. پس از اندازه‌گیری وزن خاک خشک، رطوبت وزنی در حد گنجایش زراعی محاسبه شد. به همین ترتیب، برای سطوح ۷۵، ۵۰ و ۳۰ درصد گنجایش زراعی، رطوبت یا جرم آب نیز محاسبه شد. پس از تعیین درصد رطوبت در سطوح مختلف تنش، برای هر سطح تنش (با در نظر داشتن وزن خاک داخل گلدان، وزن گلدان و مقدار رطوبت در همان سطح) وزن نهایی به دست آمد، و با وزن کردن روزانه گلدان‌ها، مقدار آب کسر شده در هر سطح به گلدان‌ها افزوده شد. پس از سپری شدن چهار هفته از اعمال تنش کم‌آبیاری و رسیدن به مرحله گل‌دهی، پیکر رویشی گیاه برداشته شده و به منظور اندازه‌گیری صفات مختلف به آزمایشگاه منتقل شد.

صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه با روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند. سطح برگ و تعداد برگ با استفاده از دستگاه اسکنر سطح برگ‌سنج (برحسب سانتی‌متر مربع) محاسبه شد. برای اندازه‌گیری ضخامت برگ، از هر بوته به‌طور تصادفی چهار برگ انتخاب شد و ضخامت برگ‌ها توسط دستگاه کولیس دیجیتال (با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر) اندازه‌گیری شد. ارتفاع ساقه و طول ریشه با استفاده از خط‌کش مدرج (برحسب سانتی‌متر) اندازه‌گیری شد. همچنین، وزن خشک ساقه و ریشه (برحسب گرم) با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌گرم اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی به روش بارنس (۷) انجام گرفت. اندازه‌گیری محتوای آنتوسیانین با استفاده از روش وانگر (۴۹) صورت گرفت. محتوای مالون دی‌آلدئید با استفاده از

تنش‌های محیطی، به‌ویژه خشکی، از عوامل تأثیرگذار بر رشد و نمو و عملکرد کمی و کیفی ریحان است. هدف از این پژوهش، بررسی اثر نور ماورای بنفش B و تنش کم‌آبیاری بر پاسخ‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی دو رقم ریحان (سبز و بنفش) است.

## مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در پاییز و زمستان ۱۳۹۷ تحت شرایط گلخانه‌ای در پردیس دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. این پژوهش بر اساس آزمایش فاکتوریل با سه فاکتور (طول مدت تابش پرتو ماورای بنفش، سطوح مختلف کم‌آبیاری و رقم) در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. طول مدت تابش شامل پنج سطح (صفر، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه در روز)، سطوح آبیاری شامل چهار سطح (۱۰۰، ۷۵، ۵۰، ۳۰ درصد گنجایش زراعی) و دو رقم ریحان (سبز و بنفش) در نظر گرفته شد.

ابتدا بذرهای ریحان سبز و بنفش در داخل سینی‌های کشت به‌صورت مجزا که محیط کشت آنها شامل دو حجم کوکوپیت و یک حجم پرلیت بود در داخل گلخانه با شرایط دمایی ۲۵ درجه سلسیوس روزانه و ۱۵ درجه سلسیوس شبانه با شرایط نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی و رطوبت نسبی ۶۰٪ کشت شد. گیاهان پس از رسیدن به مرحله سه‌الی چهاربرگی برای تابش نور ماورای بنفش به آزمایشگاه انتقال یافتند. تابش پرتو ماورای بنفش توسط دو لامپ UV-B ۱۵W=۱۸۰-۳۲۰ nm با شدت تابشی ۱۸/۳ کیلوژول بر مترمربع که به ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر در بالای گیاهان نصب شده بود برای مدت دو هفته و به‌صورت یک روز در میان اعمال شد (۲). پس از اعمال UV-B، در مرحله شش‌برگی، گیاهان در داخل گلدان‌هایی که حاوی ترکیبی از محیط‌های کشت شامل دو حجم خاک معمولی، دو حجم ماسه و یک حجم خاک‌برگ به‌همراه ورمی‌کمپوست کاملاً ضد‌عفونی شده بود منتقل شدند و در هر گلدان چهار گیاه کشت شد. پس از استقرار کامل گیاه، سطوح تنش خشکی براساس گنجایش

روش هیت و پیکر (۲۰) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان پرولین از روش بیتس (۹) استفاده شد.

## تجزیه و تحلیل آماری

این پژوهش بر اساس آرایش فاکتوریل با سه فاکتور شامل طول مدت تابش پرتو ماورای بنفش B در پنج سطح، تنش خشکی در چهار سطح و رقم در دو سطح بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ ( $P < 0.05$ ) صورت گرفت.

## نتایج

نتایج حاصل از تجزیه آماری داده‌ها نشان می‌دهد که اثر تیمار UV، کم‌آبایی، و کاربرد توأم آنها و همچنین اثر رقم ریحان بر صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار است.

### ارتفاع ساقه و طول ریشه

بر اساس نتایج به دست آمده، اثر کاربرد پرتو ماورای بنفش، کم‌آبایی و رقم و همچنین برهمکنش پرتو ماورای بنفش و کم‌آبایی بر ارتفاع ساقه و طول ریشه معنی‌دار بود (جدول ۱). ولی اثر برهمکنش پرتو ماورای بنفش، کم‌آبایی و رقم بر ارتفاع ساقه معنی‌دار نشد. بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین صفات اصلی بین تیمار شاهد، و طول مدت تابش ۵ و ۱۰ دقیقه در روز پرتو ماورای بنفش، اختلاف معنی‌دار در ارتفاع ساقه وجود ندارد. در حالی که در طول مدت تابش ۲۰ دقیقه در روز، در حد ۱۱/۲ درصد اختلاف معنی‌دار نسبت به شاهد وجود دارد. تنش شدید کم‌آبایی (سطح ۳۰٪ گنجایش زراعی) به تنهایی ۳۳/۵ درصد ارتفاع گیاه را نسبت به شاهد کاهش داده است. رقم بنفش نسبت به رقم سبز در کل دارای ۱۸/۸ درصد ارتفاع ساقه است. در حالی که میانگین طول ریشه در رقم سبز ۸/۴ درصد بیشتر از رقم بنفش به دست آمد. بین تیمار شاهد و سطوح مختلف پرتو ماورای بنفش از نظر طول

ریشه، تفاوت معنی‌دار است؛ ولی بین سطوح مختلف پرتو ماورای بنفش در طول ریشه تفاوت معنی‌دار نیست. همچنین، بررسی اثر برهم‌کنش دوگانه بر ارتفاع ساقه نشان داد بیشترین طول ساقه در تیمار توأم UV صفر، آبیاری ۱۰٪ گنجایش زراعی و رقم بنفش و کمترین ارتفاع ساقه در تیمار توأم UV صفر و ۲۰ دقیقه در روز، آبیاری ۳۰٪ گنجایش زراعی و رقم سبز به دست آمده است (شکل ۱). در حالی که بیشترین طول ریشه در تیمار توأم UV صفر، آبیاری ۷۵٪ گنجایش زراعی و رقم بنفش و کمترین طول ریشه در تیمار توأم UV ۵ دقیقه در روز، آبیاری ۳۰٪ گنجایش زراعی و رقم بنفش به دست آمده است که با کاربرد توأم سطوح پرتو ماورای بنفش از کاهش بیشتر ارتفاع در اثر تنش شدید کم‌آبایی کاسته شده است (جدول ۳).

### وزن خشک ساقه و ریشه

در مورد وزن خشک ساقه و ریشه به استثناء سطح تابش ۵ دقیقه در روز، بین دیگر سطوح تابش پرتو ماورای بنفش نسبت به شاهد تفاوت معنی‌دار وجود ندارد. کاربرد پرتو ماورای بنفش، در ابتدا وزن خشک ساقه و ریشه را افزایش داده و سپس کاهش داده است. ولی بین سطوح مختلف کم‌آبایی به شکل اختلاف معنی‌دار نسبت به شاهد وجود دارد. به طوری که این اختلاف حدود ۵۰/۷ درصد و ۶۰/۱ درصد به ترتیب برای وزن خشک ساقه و ریشه در سطح ۳۰٪ گنجایش زراعی نسبت به شاهد است. این یافته نشان‌دهنده اثر بیشتر کم‌آبایی نسبت به پرتو ماورای بنفش بر مقدار ماده خشک گیاه است. به طور کلی از نظر وزن خشک ریشه، بین دو رقم تفاوت وجود ندارد. ولی رقم بنفش وزن خشک ساقه بیشتری نسبت به رقم سبز دارد. همچنین، بر اساس نتایج برهمکنش، بیشترین وزن خشک ریشه مربوط به تیمار توأم UV ۵ دقیقه در روز، آبیاری ۱۰٪ گنجایش زراعی در هر دو رقم سبز و بنفش و کمترین وزن خشک ریشه در تیمار توأم UV ۱۰ دقیقه در روز، آبیاری ۳۰٪ گنجایش زراعی در رقم بنفش به دست آمده است. به همین ترتیب،

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده ریحان بر اساس میانگین مربعات

منبع تغییرات	درجه آزادی	سطح برگ	تعداد برگ	ضخامت برگ	ارتفاع ساقه	طول ریشه	وزن خشک گیاه
رقم (a)	۱	۶۱۵۷۰/۰۴**	۳۳۳۶/۴۳**	۰/۰۶۱**	۱۱۵۴/۳۷**	۴۱/۱۲**	۲۳/۳۴**
پرتودهی ماورای بنفش (b)	۴	۲۲۶۹۳/۶**	۱۷۹/۶۴**	۰/۰۹۵**	۴۹/۷۰**	۲۵/۴۶**	۰/۸۲**
کم آبیاری (c)	۳	۴۰۰۰۹۱/۶**	۸۲۴۴/۳۲**	۰/۰۱۱*	۷۹۲/۱۵**	۷۴/۸۴**	۴۹/۹۳**
a×b	۴	۱۰۷۱۵/۲**	۱۲۶/۳۴**	۰/۰۰۶۴ <sup>ns</sup>	۴۷/۳۹**	۶/۲۵**	۰/۱۷ <sup>ns</sup>
a×c	۳	۴۰۴۵/۲**	۱۹۱/۰۴**	۰/۰۰۱۸ <sup>ns</sup>	۴۹/۵۴**	۲۸/۵۰**	۵/۵۰**
b×c	۱۲	۵۷۸۲/۹**	۱۰۷/۶۳**	۰/۰۰۰۸۱ <sup>ns</sup>	۷/۱۸*	۲/۸۰*	۱/۱۵**
a×b×c	۱۲	۴۲۲۱/۱**	۶۸/۲۴**	۰/۰۰۰۳۶ <sup>ns</sup>	۶/۲۴ <sup>ns</sup>	۳/۸۷**	۱/۱۷**
خطا	۸۰	۱۳۲/۶۵	۲۲/۵۲	۰/۰۰۳۴	۳/۶۲	۱/۲۲	۰/۱۷
ضریب تغییرات		۴/۸۳	۷/۶۵	۱۴/۱۷	۶/۳۵	۴/۶۰	۱۰/۱۸

\*\*، \* و ns به ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اثر معنی‌دار است.

ادامه جدول ۱

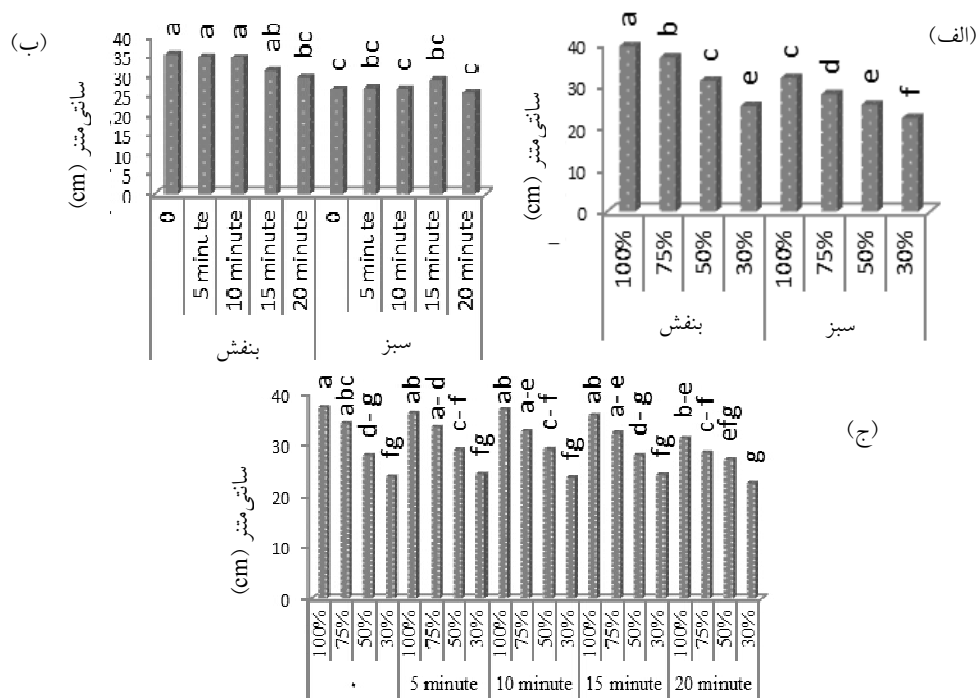
منبع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک ریشه	مالوندی آلدئید	کاروتنوئید	آنتوسیانین	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	پرویلین
رقم a	۱	۰/۰۶ <sup>ns</sup>	۹۸۶/۰۴**	۰/۰۱**	۰/۰۳۱*	۰/۰۰۳*	۰/۰۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۱**	۳۵۴/۱۲**
ماورای بنفش b	۴	۰/۱۶**	۳۳۱/۷۸**	۰/۱۴**	۰/۴۱۳**	۰/۰۵۴**	۰/۰۰۸**	۰/۰۰۹۱**	۴۰/۴۶**
کم آبیاری c	۳	۳/۵۲**	۶۸۰/۵۵**	۰/۴۹**	۰/۱۶۵**	۰/۳۴۵**	۰/۱۴۹**	۰/۹۸۴**	۳۵۹/۴۴**
a×b	۴	۰/۰۱ <sup>ns</sup>	۷۰/۹۸*	۰/۰۳**	۰/۰۱۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۱**	۰/۰۰۹**	۰/۰۰۹**	۴/۲۵ <sup>ns</sup>
a×c	۳	۰/۰۱ <sup>ns</sup>	۲۱۳/۲۳**	۰/۰۱**	۰/۰۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۸**	۰/۰۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۳**	۶/۹۰*
b×c	۱۲	۰/۰۵ <sup>ns</sup>	۱۷۴/۸۶**	۰/۰۹**	۰/۰۱۷**	۰/۰۲۰**	۰/۰۰۷**	۰/۰۳۹**	۲۶/۴۶**
a×b×c	۱۲	۰/۰۲ <sup>ns</sup>	۱۱۰/۳۵**	۰/۰۰۶**	۰/۰۲۳**	۰/۰۰۵**	۰/۰۰۴**	۰/۰۰۵**	۱۵/۱۰**
خطا	۸۰	۳/۰۳	۲۲/۳۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۷	۱/۸۹
ضریب تغییرات		۱۸/۸۶	۸/۱۲	۵/۴۲	۱۰/۲۰	۶/۶۳	۸/۸۰	۴/۰۳	۱۰/۱۰

\*\*، \* و ns به ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اثر معنی‌دار است.

### سطح، تعداد و ضخامت برگ

سطح برگ در هر دو رقم ریحان با کاربرد پرتو ماورای بنفش و کم آبیاری نسبت به شاهد ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. به طوری که بیشترین سطح برگ مربوط به تیمار توأم UV ۵ دقیقه در روز، آبیاری ۱۰۰٪ گنجایش زراعی در رقم بنفش و کمترین سطح برگ مربوط به تیمار توأم رقم سبز، UV ۲۰

بیشترین وزن خشک ساقه در تیمار توأم UV ۵ دقیقه در روز، آبیاری ۱۰۰٪ گنجایش زراعی در رقم بنفش و کمترین وزن خشک ساقه در تیمار توأم UV ۱۰ دقیقه در روز، آبیاری ۳۰٪ گنجایش زراعی در رقم سبز ثبت شد. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که افزایش طول مدت تابش از کاهش بیشتر وزن خشک در اثر تنش شدید کم آبیاری جلوگیری کرده است (جدول ۳).



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش‌های الف) رقم و تنش خشکی (گنجایش زراعی)، ب) رقم و اشعه ماورای بنفش (دقیقه در روز)، ج) اشعه ماورای بنفش (دقیقه در روز) و تنش خشکی (گنجایش زراعی)، بر ارتفاع ساقه (سانتی‌متر). حروف مشترک بیان‌کننده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰.۰۵٪ براساس آزمون دانکن است.

تعداد برگ به ترتیب در حد ۹/۳ و ۱۰/۰ درصد نسبت به شاهد داشته که سپس با افزایش مدت تابش دوباره روند کاهشی پیدا کرده است (جدول ۲). در تیمار توأم، از کاهش بیشتر سطح برگ و تعداد برگ در اثر تنش شدید کم‌آبیاری جلوگیری شده است که حالت هم‌افزایی را نشان می‌دهد. طول مدت تابش ۵ دقیقه باعث افزایش سطح برگ و تعداد برگ نسبت به شاهد شده است. همچنین، در هر دو رقم ریحان، با کاربرد پرتو ماورای بنفش و کم‌آبیاری، ضخامت برگ نسبت به شاهد افزایش یافته که این افزایش در سطوح تابش پرتو ماورای بنفش نسبت به کم‌آبیاری بیشتر بوده است. به طوری که سطح ۲۰ دقیقه تابش حدود ۳۲/۳ درصد ضخامت برگ را نسبت به شاهد افزایش داده است و رقم بنفش نسبت به رقم سبز ضخامت بیشتری را نشان داد (جدول ۲). اثر برهم‌کنش پرتو ماورای بنفش، تنش کم‌آبیاری و رقم بر ضخامت برگ معنی‌دار نبود.

دقیقه در روز و آبیاری ۳۰٪ گنجایش زراعی به دست آمد (جدول ۳). نتایج نشان می‌دهد که تعداد برگ در اثر پرتو ماورای بنفش به استثناء سطح تابش ۵ دقیقه در روز، در دیگر سطوح نسبت به شاهد تفاوت معنی‌دار وجود ندارد. بیشترین تعداد برگ در تیمار توأم UV ۵ دقیقه در روز، آبیاری ۱۰۰٪ گنجایش زراعی در رقم سبز و کمترین تعداد برگ در تیمار توأم UV صفر، آبیاری ۳۰٪ گنجایش زراعی در رقم بنفش مشاهده شد (جدول ۳). بر اساس نتایج، سطح برگ در رقم بنفش ۱۷/۳ درصد نسبت به رقم سبز، و تعداد برگ در رقم سبز ۱۶٪ نسبت به رقم بنفش بیشتر بود. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که تنش کم‌آبیاری اثر بیشتری در کاهش سطح برگ و تعداد برگ نسبت به UV داشته است. به طوری که سطح کم‌آبیاری ۳۰٪ گنجایش زراعی حدود ۷۱ درصد سطح برگ و ۵۰٪ تعداد برگ را نسبت به شاهد کاهش داده است. ولی تابش پرتو ماورای بنفش در ابتدا اثر افزایشی بر سطح برگ و

جدول ۲. مقایسه میانگین آثار اصلی رقم، نور ماورای بنفش و خشکی بر صفات اندازه‌گیری شده ریحان

وزن خشک ریشه (g/pot)	طول ریشه (cm/pot)	ارتفاع گیاه (cm)	ضخامت برگ (mm)	تعداد برگ (per pot)	سطح برگ (cm <sup>2</sup> /pot)	تیمار
۰/۹۳۹ <sup>a</sup>	۲۳/۳ <sup>b</sup>	۳۳/۰ <sup>a</sup>	۰/۴۳۵ <sup>a</sup>	۷۰/۵ <sup>b</sup>	۲۶۰/۸ <sup>a</sup>	رقم بنفش
۰/۹۸۵ <sup>a</sup>	۲۴/۵ <sup>a</sup>	۲۶/۸ <sup>b</sup>	۰/۳۸۹ <sup>b</sup>	۲۵/۶ <sup>a</sup>	۲۱۵/۵ <sup>b</sup>	سبز
پرتودهی ماورای بنفش (دقیقه در روز)						
۰/۹۹۰ <sup>ab</sup>	۲۵/۶ <sup>a</sup>	۳۰/۹ <sup>a</sup>	۰/۳۳۱ <sup>d</sup>	۵۹/۹ <sup>b</sup>	۲۵۲/۵ <sup>b</sup>	۰
۱/۰۸۸ <sup>a</sup>	۲۴/۱ <sup>b</sup>	۳۰/۷ <sup>a</sup>	۰/۳۷۳ <sup>c</sup>	۶۶/۶ <sup>a</sup>	۲۷۸/۵ <sup>a</sup>	۵
۰/۹۴۶ <sup>bc</sup>	۲۳/۰ <sup>d</sup>	۳۰/۵ <sup>a</sup>	۰/۴۱۰ <sup>b</sup>	۶۱/۱ <sup>b</sup>	۲۴۰/۷ <sup>c</sup>	۱۰
۰/۸۸۲ <sup>c</sup>	۲۳/۸ <sup>bc</sup>	۳۰/۰ <sup>ab</sup>	۰/۴۵۷ <sup>a</sup>	۶۰/۰ <sup>b</sup>	۱۹۷/۲ <sup>c</sup>	۱۵
۰/۹۰۴ <sup>bc</sup>	۲۳/۲ <sup>cd</sup>	۲۷/۴ <sup>b</sup>	۰/۴۸۹ <sup>a</sup>	۶۲/۱ <sup>ab</sup>	۲۲۱/۷ <sup>d</sup>	۲۰
کم‌آبیاری (FC%)						
۱/۳۳۳ <sup>a</sup>	۲۴/۳ <sup>b</sup>	۳۵/۵ <sup>a</sup>	۰/۳۸۸ <sup>b</sup>	۸۰/۶ <sup>a</sup>	۳۷۶/۱ <sup>a</sup>	۱۰۰
۱/۱۱۱ <sup>b</sup>	۲۵/۳ <sup>a</sup>	۳۲/۲ <sup>b</sup>	۰/۴۰۸ <sup>ab</sup>	۶۷/۷ <sup>b</sup>	۲۸۰/۱ <sup>b</sup>	۷۵
۰/۸۷۲ <sup>c</sup>	۲۴/۴ <sup>b</sup>	۲۸/۲ <sup>c</sup>	۰/۴۱۶ <sup>ab</sup>	۵۸/۲ <sup>c</sup>	۱۸۷/۱ <sup>c</sup>	۵۰
۰/۵۳۳ <sup>d</sup>	۲۱/۷ <sup>c</sup>	۲۳/۶ <sup>d</sup>	۰/۴۳۵ <sup>a</sup>	۴۱/۲ <sup>d</sup>	۱۰۹/۲ <sup>d</sup>	۳۰

در هر ستون و در هر گروه، حروف مشترک بیان‌کننده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد ( $P < 0.05$ ) براساس آزمون دانکن است.

#### آنتوسیانین

سطح آبیاری ۷۵٪ گنجایش زراعی و شاهد اختلاف معنی‌دار وجود ندارد (جدول ۲). تیمارهای برهمکنش، اثر افزایشی بیشتری را نسبت به هر یک از تیمارهای پرتو ماورای بنفش و کم‌آبیاری به‌تنهایی داشته است. بیشترین مقدار آنتوسیانین در تیمار توأم UV ۲۰ دقیقه در روز، آبیاری ۳۰٪ گنجایش زراعی و رقم بنفش که حدود ۷۵٪ نسبت به شاهد است و کمترین مقدار آنتوسیانین در تیمار توأم UV صفر، آبیاری ۱۰٪ گنجایش زراعی در رقم سبز به‌دست آمده است (جدول ۳).

#### محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی

بر اساس نتایج به‌دست آمده، میزان کلروفیل *a* و *b*، کلروفیل کل

بر اساس نتایج حاصل، اثر رقم، تیمار پرتو ماورای بنفش، تیمار تنش کم‌آبیاری، و برهمکنش رقم، پرتو ماورای بنفش و تنش کم‌آبیاری بر مقدار آنتوسیانین معنی‌دار بود (جدول ۱). مقدار آنتوسیانین به‌طور منظم در اثر سطوح مختلف پرتو ماورای بنفش نسبت به شاهد به‌طور معنی‌دار افزایش یافته است. سطح تابش ۲۰ دقیقه در روز، مقدار آنتوسیانین را در حدود ۴۰/۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داده است. مقدار آنتوسیانین در اثر سطوح مختلف آبیاری نیز حالت افزایشی را نشان می‌دهد. به‌طوری که سطح آبیاری ۳۰٪ گنجایش زراعی در حدود ۲۵/۹ درصد آنتوسیانین را نسبت به شاهد افزایش داده است. ولی بین

ادامه جدول ۲.

تیمار	وزن خشک ساقه (g/pot)	مالوندی آلدنید (میکروگرم در گرم وزن تازه)	کاروتنوئید (میلی گرم در گرم وزن تازه)	میکروگرم در گرم وزن تازه) آنتوسیانین	کلروفیل « <i>a</i> » (میلی گرم در گرم وزن تازه)	کلروفیل « <i>b</i> » (میلی گرم در گرم وزن تازه)	کلروفیل کل (میلی گرم در گرم وزن تازه)	پروپیلین (میکرومول در گرم وزن تازه)
رقم								
بنفش	۴/۴۵۱ <sup>a</sup>	۶۱/۱ <sup>a</sup>	۰/۷۲۶ <sup>a</sup>	۰/۶۸۱ <sup>a</sup>	۰/۳۳۱ <sup>b</sup>	۰/۳۴۰ <sup>a</sup>	۰/۶۷۲ <sup>b</sup>	۱۵/۳۲ <sup>a</sup>
سبز	۳/۶۵۹ <sup>b</sup>	۵۵/۳ <sup>b</sup>	۰/۷۰۲ <sup>b</sup>	۰/۶۴۹ <sup>b</sup>	۰/۳۴۲ <sup>a</sup>	۰/۳۴۹ <sup>a</sup>	۰/۶۹۱ <sup>a</sup>	۱۱/۸۹ <sup>b</sup>
پرتودهی ماورای بنفش (دقیقه در روز)								
۰	۴/۱۴۸ <sup>b</sup>	۵۷/۸ <sup>b</sup>	۰/۷۹۱ <sup>a</sup>	۰/۴۶۵ <sup>d</sup>	۰/۳۹۵ <sup>a</sup>	۰/۳۷۷ <sup>a</sup>	۰/۷۴۵ <sup>a</sup>	۱۲/۴۱ <sup>b</sup>
۵	۴/۴۰۵ <sup>a</sup>	۵۳/۴ <sup>c</sup>	۰/۷۸۹ <sup>a</sup>	۰/۶۲۶ <sup>c</sup>	۰/۳۶۸ <sup>b</sup>	۰/۳۴۵ <sup>b</sup>	۰/۷۴۱ <sup>a</sup>	۱۲/۷۵ <sup>b</sup>
۱۰	۳/۹۵۸ <sup>b</sup>	۵۶/۱ <sup>bc</sup>	۰/۷۱۲ <sup>b</sup>	۰/۶۷۰ <sup>b</sup>	۰/۳۴۱ <sup>c</sup>	۰/۳۳۸ <sup>b</sup>	۰/۶۷۹ <sup>b</sup>	۱۲/۹۰ <sup>b</sup>
۱۵	۳/۹۹۷ <sup>b</sup>	۶۲/۵ <sup>a</sup>	۰/۶۰۶ <sup>d</sup>	۰/۷۸۱ <sup>a</sup>	۰/۲۹۹ <sup>d</sup>	۰/۳۳۴ <sup>b</sup>	۰/۶۳۳ <sup>c</sup>	۱۴/۶۳ <sup>a</sup>
۲۰	۳/۹۹۱ <sup>b</sup>	۶۱/۲ <sup>a</sup>	۰/۶۷۲ <sup>c</sup>	۰/۷۸۳ <sup>a</sup>	۰/۲۸۰ <sup>c</sup>	۰/۳۲۹ <sup>b</sup>	۰/۶۰۹ <sup>d</sup>	۱۵/۳۵ <sup>a</sup>
کم آبیاری (FC%)								
۱۰۰	۵/۸۷ <sup>a</sup>	۵۳/۷ <sup>c</sup>	۰/۸۵۸ <sup>a</sup>	۰/۵۹۶ <sup>c</sup>	۰/۴۴۷ <sup>a</sup>	۰/۴۲۱ <sup>a</sup>	۰/۸۶۹ <sup>a</sup>	۱۰/۸۷ <sup>d</sup>
۷۵	۴/۱۶ <sup>b</sup>	۵۴/۷ <sup>c</sup>	۰/۷۷۸ <sup>b</sup>	۰/۶۱۴ <sup>c</sup>	۰/۴۰۶ <sup>b</sup>	۰/۳۸۴ <sup>b</sup>	۰/۷۹۰ <sup>b</sup>	۱۲/۰۱ <sup>c</sup>
۵۰	۳/۴۶ <sup>c</sup>	۶۰/۸ <sup>b</sup>	۰/۶۴۹ <sup>c</sup>	۰/۶۹۵ <sup>b</sup>	۰/۲۷۰ <sup>c</sup>	۰/۳۰۵ <sup>c</sup>	۰/۵۷۵ <sup>c</sup>	۱۲/۹۰ <sup>b</sup>
۳۰	۲/۸۹ <sup>d</sup>	۶۳/۶ <sup>a</sup>	۰/۵۷۱ <sup>c</sup>	۰/۷۵۶ <sup>a</sup>	۰/۲۲۳ <sup>d</sup>	۰/۲۶۷ <sup>d</sup>	۰/۴۹۰ <sup>d</sup>	۱۸/۶۵ <sup>a</sup>

در هر ستون و در هر گروه، حروف مشترک بیان‌کننده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد ( $P < 0.05$ ) براساس آزمون دانکن است.

سبز بیشتر از رقم بنفش است. بیشترین میزان کاروتنوئید مربوط به رقم بنفش است. همچنین میزان کلروفیل کل و کاروتنوئید در طول مدت تابش ۵ دقیقه در روز نسبت به شاهد تفاوت معنی‌دار ندارد. ولی در سطوح بالاتر نسبت به شاهد تفاوت معنی‌دار است (جدول ۲). در جدول آثار برهمکنش، بیشترین میزان کلروفیل کل مربوط به تیمار شاهد هر دو رقم سبز و بنفش و بیشترین میزان کاروتنوئید مربوط به تیمار شاهد و رقم بنفش دیده می‌شود. همچنین کمترین میزان کلروفیل و

و کاروتنوئید با کاربرد سطوح پرتو ماورای بنفش و تنش کم آبیاری کاهش معنی‌دار را نسبت به شاهد نشان می‌دهد. ولی سطوح کم آبیاری نسبت به پرتو ماورای بنفش بر کاهش میزان رنگدانه‌ها اثر بیشتری داشتند. میزان کلروفیل کل در سطح تابش ۲۰ دقیقه در روز حدود ۱۸/۳ درصد و در اثر سطح کم آبیاری شدید (۳۰٪ گنجایش زراعی) حدود ۴۳/۶ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. مقدار کلروفیل *b* در بین دو رقم ریحان تفاوتی نشان نداد. ولی مقدار کلروفیل *a* و کلروفیل کل در رقم



جدول ۳. مقایسه میانگین آثار برهمکنش رقم، پرتو ماورای بنفش و خشکی بر صفات اندازه‌گیری شده ریحان

وزن خشک ریشه (g/pot)	وزن ساقه خشک (g/pot)	طول ریشه (cm/pot)	تعداد برگ (per pot)	سطح برگ (cm <sup>2</sup> /pot)	کم‌آبیاری (گنجایش زراعی)	پرتودهی ماورای بنفش (دقیقه در روز)	رقم
۱/۳۳۷ <sup>a-d</sup>	۸/۲۶ <sup>a</sup>	۲۵/۸ <sup>b-e</sup>	۷۱/۷ <sup>d-g</sup>	۴۵۰/۸ <sup>a</sup>	۱۰۰		
۱/۰۹۸ <sup>b-h</sup>	۴/۶۳۶ <sup>d-h</sup>	۲۸/۰ <sup>a</sup>	۶۲/۲ <sup>h-k</sup>	۳۵۱/۳ <sup>de</sup>	۷۵		
۰/۸۱۰ <sup>b-m</sup>	۳/۲۹۲ <sup>l-q</sup>	۲۵/۵ <sup>b-f</sup>	۶۱/۰ <sup>ijk</sup>	۲۱۸/۵ <sup>hij</sup>	۵۰		
۰/۴۹۳ <sup>mn</sup>	۲/۷۰۲ <sup>pq</sup>	۲۲/۵ <sup>h-l</sup>	۳۴/۰ <sup>r</sup>	۱۲۰/۲ <sup>nop</sup>	۳۰		
۱/۴۷۳ <sup>a</sup>	۸/۶۸۰ <sup>a</sup>	۲۴/۳ <sup>d-h</sup>	۸۰/۰ <sup>cd</sup>	۴۴۸/۳ <sup>a</sup>	۱۰۰		
۱/۳۷۲ <sup>abc</sup>	۴/۴۹۸ <sup>e-i</sup>	۲۶/۳ <sup>a-d</sup>	۶۵/۸ <sup>f-i</sup>	۴۱۵/۴ <sup>b</sup>	۷۵	۵	
۰/۹۰۲ <sup>f-j</sup>	۳/۴۲۵ <sup>k-p</sup>	۲۱/۴ <sup>klm</sup>	۵۰/۳ <sup>lmn</sup>	۲۰۰/۴ <sup>jkl</sup>	۵۰		
۰/۴۹۵ <sup>mn</sup>	۲/۸۲۶ <sup>opq</sup>	۱۹/۰ <sup>o</sup>	۳۹/۰ <sup>qr</sup>	۱۱۳/۲ <sup>p</sup>	۳۰		
۱/۴۳۰ <sup>ab</sup>	۶/۴۲۰ <sup>b</sup>	۲۳/۵ <sup>f-k</sup>	۷۳/۱ <sup>def</sup>	۳۷۶/۷ <sup>c</sup>	۱۰۰		
۱/۱۹۰ <sup>a-g</sup>	۴/۱۴۰ <sup>g-k</sup>	۲۴/۴ <sup>c-h</sup>	۶۵/۲ <sup>f-i</sup>	۳۴۲/۰ <sup>e</sup>	۷۵	۱۰	بنفش
۰/۶۷۷ <sup>i-n</sup>	۳/۷۲۳ <sup>i-n</sup>	۱۹/۴ <sup>no</sup>	۴۹/۵ <sup>m-p</sup>	۲۳۸/۹ <sup>h</sup>	۵۰		
۰/۴۳۲ <sup>n</sup>	۲/۹۱۹ <sup>n-q</sup>	۲۲/۰ <sup>i-m</sup>	۳۸/۰ <sup>qr</sup>	۱۳۸/۱ <sup>n</sup>	۳۰		
۱/۲۰۶ <sup>a-g</sup>	۶/۰۲۹ <sup>bc</sup>	۲۶/۲ <sup>a-d</sup>	۶۳/۶ <sup>g-j</sup>	۲۳۷/۲ <sup>h</sup>	۱۰۰		
۰/۷۸۸ <sup>h-m</sup>	۴/۵۲۱ <sup>e-i</sup>	۲۴/۲ <sup>d-h</sup>	۵۰/۸ <sup>lmn</sup>	۱۹۵/۳ <sup>kl</sup>	۷۵	۱۵	
۰/۸۹۳ <sup>f-k</sup>	۳/۸۵۱ <sup>i-m</sup>	۲۳/۲ <sup>g-l</sup>	۵۰/۰ <sup>mno</sup>	۱۹۷/۴ <sup>kl</sup>	۵۰		
۰/۵۸۱ <sup>j-n</sup>	۳/۱۹۱ <sup>l-q</sup>	۲۱/۱ <sup>lmn</sup>	۴۳/۶ <sup>n-q</sup>	۱۱۵/۰ <sup>op</sup>	۳۰		
۱/۱۴۰ <sup>a-h</sup>	۵/۳۶۵ <sup>cd</sup>	۲۳/۵ <sup>f-k</sup>	۷۷/۱ <sup>de</sup>	۴۳۹/۰ <sup>a</sup>	۱۰۰		
۱/۱۴۱ <sup>a-h</sup>	۴/۶۱۳ <sup>d-h</sup>	۲۴/۰ <sup>e-j</sup>	۵۹/۴ <sup>i-l</sup>	۲۶۴/۲ <sup>g</sup>	۷۵	۲۰	
۰/۸۰۶ <sup>b-m</sup>	۴/۲۷۱ <sup>f-j</sup>	۲۳/۰ <sup>h-l</sup>	۵۵/۵ <sup>j-m</sup>	۲۳۸/۸ <sup>h</sup>	۵۰		
۰/۵۲۱ <sup>lmn</sup>	۳/۴۹۰ <sup>j-p</sup>	۲۰/۰ <sup>mno</sup>	۴۱/۳ <sup>o-r</sup>	۱۱۴/۶ <sup>op</sup>	۳۰		
۱/۴۸۲ <sup>a</sup>	۴/۳۷۲ <sup>f-i</sup>	۲۶/۳ <sup>a-d</sup>	۷۷/۱ <sup>de</sup>	۳۳۸/۸ <sup>e</sup>	۱۰۰		
۱/۲۴۹ <sup>a-g</sup>	۳/۹۷۷ <sup>g-l</sup>	۲۶/۵ <sup>abc</sup>	۷۵/۲ <sup>de</sup>	۲۶۶/۹ <sup>g</sup>	۷۵		
۰/۸۹۹ <sup>f-j</sup>	۳/۱۱۵ <sup>m-q</sup>	۲۷/۱ <sup>ab</sup>	۵۴/۵ <sup>klm</sup>	۱۶۷/۹ <sup>m</sup>	۵۰		
۰/۵۵۵ <sup>i-n</sup>	۲/۸۲۴ <sup>opq</sup>	۲۳/۱ <sup>g-l</sup>	۴۳/۵ <sup>n-q</sup>	۱۰۵/۴ <sup>pq</sup>	۳۰		
۱/۴۷۳ <sup>a</sup>	۵/۲۱۵ <sup>de</sup>	۲۵/۲ <sup>b-g</sup>	۹۸/۷ <sup>a</sup>	۴۳۱/۵ <sup>ab</sup>	۱۰۰		
۱/۲۹۸ <sup>a-e</sup>	۴/۵۱۵ <sup>e-i</sup>	۲۷/۰ <sup>ab</sup>	۸۶/۷ <sup>bc</sup>	۳۱۶/۴ <sup>f</sup>	۷۵	۵	
۱/۰۰۹ <sup>d-i</sup>	۳/۲۹۶ <sup>l-q</sup>	۲۶/۹ <sup>ab</sup>	۶۵/۱ <sup>f-i</sup>	۱۸۳/۸ <sup>lm</sup>	۵۰		
۰/۶۸۷ <sup>i-n</sup>	۲/۸۲۵ <sup>opq</sup>	۲۳/۰ <sup>g-l</sup>	۴۵/۰ <sup>n-q</sup>	۱۱۸/۷ <sup>nop</sup>	۳۰		
۱/۳۷۰ <sup>abc</sup>	۵/۰۵۴ <sup>def</sup>	۲۲/۶ <sup>h-l</sup>	۹۱/۰ <sup>b</sup>	۳۷۲/۷ <sup>c</sup>	۱۰۰		
۱/۰۵۱ <sup>c-h</sup>	۳/۷۵ <sup>i-m</sup>	۲۴/۰ <sup>e-j</sup>	۷۳/۵ <sup>def</sup>	۲۳۱/۶ <sup>ghi</sup>	۷۵	۱۰	سبز
۰/۸۵۷ <sup>g-l</sup>	۳/۱۰۵ <sup>m-q</sup>	۲۶/۱ <sup>a-d</sup>	۵۷/۷ <sup>i-m</sup>	۱۳۴/۹ <sup>no</sup>	۵۰		
۰/۵۶۱ <sup>j-n</sup>	۲/۵۴۵ <sup>q</sup>	۲۱/۹ <sup>j-m</sup>	۴۱/۰ <sup>pqr</sup>	۹۰/۸ <sup>qr</sup>	۳۰		
۱/۱۷۴ <sup>a-g</sup>	۴/۶۹۴ <sup>d-g</sup>	۲۲/۵ <sup>h-l</sup>	۸۷/۰ <sup>bc</sup>	۳۶۲/۳ <sup>cd</sup>	۱۰۰		
۰/۹۷۱ <sup>e-i</sup>	۳/۴۲۳ <sup>k-p</sup>	۲۵/۲ <sup>b-g</sup>	۷۲/۷ <sup>def</sup>	۲۱۳/۲ <sup>ijk</sup>	۷۵	۱۵	
۰/۹۰۲ <sup>f-j</sup>	۳/۳۶۰ <sup>k-q</sup>	۲۵/۶ <sup>b-f</sup>	۷۰/۷ <sup>e-h</sup>	۱۶۴/۹ <sup>m</sup>	۵۰		
۰/۵۴۴ <sup>k-n</sup>	۲/۹۰۴ <sup>n-q</sup>	۲۲/۳ <sup>h-l</sup>	۴۱/۷ <sup>o-r</sup>	۹۲/۶ <sup>qr</sup>	۳۰		
۱/۲۵۲ <sup>a-f</sup>	۴/۶۵۰ <sup>d-h</sup>	۲۳/۶ <sup>e-j</sup>	۸۷/۰ <sup>bc</sup>	۳۰۳/۱ <sup>f</sup>	۱۰۰		
۰/۹۴۹ <sup>e-i</sup>	۳/۵۸۴ <sup>i-o</sup>	۲۴/۱ <sup>d-i</sup>	۶۵/۵ <sup>f-i</sup>	۲۰۴/۹ <sup>jk</sup>	۷۵	۲۰	
۰/۹۶۴ <sup>e-i</sup>	۳/۲۴۲ <sup>l-q</sup>	۲۵/۵ <sup>b-f</sup>	۶۵/۷ <sup>f-i</sup>	۱۲۵/۱ <sup>nop</sup>	۵۰		
۰/۴۵۹ <sup>m-n</sup>	۲/۷۱۶ <sup>pq</sup>	۲۲/۰ <sup>i-m</sup>	۴۵/۳ <sup>n-q</sup>	۸۳/۶ <sup>r</sup>	۳۰		

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح ۰.۵٪ بر اساس آزمون دانکن ندارند.

ادامه جدول ۳.

کلروفیل کل (میلی گرم در گرم وزن تازه)	کلروفیل b (میلی گرم در گرم وزن تازه)	کلروفیل a (میلی گرم در گرم وزن تازه)	آنتوسیانین (میکروگرم در گرم وزن تازه)	پروترین (میکرومول در گرم وزن خشک)	کاروتنوئید (میلی گرم در گرم وزن تازه)	مالوندی آلدئید (میکروگرم در گرم وزن تازه)	کم‌آبیاری (گنجایش زراعی)	پروتوئیدی مالورای بفش (دقیقه در روز)	سبز
۱/۰۳۱ <sup>a</sup>	۰/۴۹۸ <sup>a</sup>	۰/۵۳۳ <sup>a</sup>	۰/۴۵۵ <sup>qrs</sup>	۹/۳ <sup>q-t</sup>	۱/۲۵۳ <sup>a</sup>	۴۱/۹ <sup>q</sup>	۱۰۰		
۰/۹۹۵ <sup>abc</sup>	۰/۴۷۶ <sup>abc</sup>	۰/۵۱۹ <sup>a</sup>	۰/۴۷۶ <sup>o-s</sup>	۹/۲ <sup>q-t</sup>	۱/۰۵۷ <sup>b</sup>	۶۱/۰ <sup>d-j</sup>	۷۵		
۰/۵۴۰ <sup>o-r</sup>	۰/۳۴۰ <sup>g-l</sup>	۰/۱۹۹ <sup>no</sup>	۰/۳۸۱ <sup>rs</sup>	۱۹/۴ <sup>cde</sup>	۰/۵۷۰ <sup>klm</sup>	۶۴/۵ <sup>b-h</sup>	۵۰		
۰/۴۵۸ <sup>t</sup>	۰/۲۵۰ <sup>pq</sup>	۰/۲۰۸ <sup>mno</sup>	۰/۳۷۰ <sup>s</sup>	۱۶/۴ <sup>ghi</sup>	۰/۴۴۹ <sup>n</sup>	۶۶/۶ <sup>a-e</sup>	۳۰		
۰/۹۳۸ <sup>de</sup>	۰/۴۲۱ <sup>cde</sup>	۰/۵۱۷ <sup>a</sup>	۰/۶۰۰ <sup>j-o</sup>	۱۳/۶ <sup>j-n</sup>	۱/۱۰۸ <sup>b</sup>	۵۶/۸ <sup>f-m</sup>	۱۰۰		
۰/۷۶۷ <sup>gh</sup>	۰/۳۰۰ <sup>j-p</sup>	۰/۴۶۷ <sup>b</sup>	۰/۴۸۲ <sup>n-s</sup>	۱۲/۸ <sup>l-o</sup>	۰/۸۳۶ <sup>e</sup>	۴۹/۳ <sup>l-q</sup>	۷۵	۵	
۰/۶۷۰ <sup>jk</sup>	۰/۲۴۴ <sup>pq</sup>	۰/۴۲۵ <sup>c</sup>	۰/۷۱۱ <sup>d-k</sup>	۱۴/۴ <sup>i-l</sup>	۰/۷۲۳ <sup>gh</sup>	۵۴/۳ <sup>i-o</sup>	۵۰		
۰/۵۹۸ <sup>lmn</sup>	۰/۳۰۹ <sup>i-o</sup>	۰/۲۸۹ <sup>ghi</sup>	۰/۶۰۷ <sup>j-n</sup>	۲۱/۳ <sup>bc</sup>	۰/۶۶۶ <sup>hij</sup>	۶۶/۰ <sup>a-g</sup>	۳۰		
۰/۹۰۱ <sup>ef</sup>	۰/۳۷۶ <sup>e-h</sup>	۰/۵۲۵ <sup>a</sup>	۰/۵۰۲ <sup>m-r</sup>	۱۲/۱ <sup>mno</sup>	۰/۸۳۲ <sup>e</sup>	۶۵/۷ <sup>a-g</sup>	۱۰۰		
۰/۶۹۴ <sup>ij</sup>	۰/۳۸۱ <sup>efg</sup>	۰/۳۱۳ <sup>fgh</sup>	۰/۵۶۸ <sup>l-q</sup>	۱۳/۷ <sup>j-m</sup>	۰/۷۶۲ <sup>fg</sup>	۵۸/۷ <sup>e-k</sup>	۷۵	۱۰	بنفش
۰/۵۶۲ <sup>nop</sup>	۰/۲۹۹ <sup>j-p</sup>	۰/۲۶۲ <sup>ijk</sup>	۰/۷۰۸ <sup>d-k</sup>	۱۴/۴ <sup>i-l</sup>	۰/۶۸۱ <sup>hi</sup>	۵۸/۳ <sup>e-l</sup>	۵۰		
۰/۵۳۹ <sup>o-r</sup>	۰/۳۱۲ <sup>i-n</sup>	۰/۲۲۷ <sup>k-n</sup>	۰/۸۴۱ <sup>bcd</sup>	۱۷/۵ <sup>efg</sup>	۰/۵۸۶ <sup>klm</sup>	۵۹/۵ <sup>e-j</sup>	۳۰		
۰/۷۷۳ <sup>gh</sup>	۰/۴۲۰ <sup>cde</sup>	۰/۳۵۳ <sup>de</sup>	۰/۷۶۵ <sup>b-f</sup>	۱۴/۹ <sup>h-k</sup>	۰/۵۷۹ <sup>klm</sup>	۶۶/۱ <sup>a-f</sup>	۱۰۰		
۰/۶۹۴ <sup>ij</sup>	۰/۳۷۷ <sup>e-h</sup>	۰/۳۱۷ <sup>efg</sup>	۰/۷۴۲ <sup>c-i</sup>	۱۴/۴ <sup>i-l</sup>	۰/۵۶۷ <sup>lm</sup>	۵۹/۱ <sup>e-k</sup>	۷۵	۱۵	
۰/۵۴۲ <sup>o-r</sup>	۰/۳۳۴ <sup>g-l</sup>	۰/۲۰۹ <sup>mno</sup>	۰/۷۵۸ <sup>b-h</sup>	۱۳/۸ <sup>j-m</sup>	۰/۵۵۸ <sup>lm</sup>	۷۳/۹ <sup>a</sup>	۵۰		
۰/۴۵۳ <sup>t</sup>	۰/۲۵۲ <sup>opq</sup>	۰/۲۰۱ <sup>no</sup>	۰/۸۸۸ <sup>b</sup>	۲۳/۲ <sup>ab</sup>	۰/۵۱۵ <sup>m</sup>	۵۹/۹ <sup>f-m</sup>	۳۰		
۰/۶۲۷ <sup>jk</sup>	۰/۳۵۷ <sup>g-j</sup>	۰/۲۷۰ <sup>ij</sup>	۰/۵۷۰ <sup>l-q</sup>	۱۵/۵ <sup>g-j</sup>	۰/۷۷۰ <sup>efg</sup>	۵۸/۵ <sup>e-l</sup>	۱۰۰		
۰/۶۲۴ <sup>klm</sup>	۰/۳۵۲ <sup>g-k</sup>	۰/۲۷۲ <sup>hij</sup>	۰/۶۹۴ <sup>e-l</sup>	۱۶/۵ <sup>f-i</sup>	۰/۶۸۶ <sup>hi</sup>	۷۲/۴ <sup>ab</sup>	۷۵	۲۰	
۰/۵۴۷ <sup>opq</sup>	۰/۲۵۲ <sup>opq</sup>	۰/۲۹۴ <sup>ghi</sup>	۰/۷۹۳ <sup>b-f</sup>	۱۳/۸ <sup>j-m</sup>	۰/۸۶۴ <sup>hi</sup>	۶۶/۷ <sup>a-e</sup>	۵۰		
۰/۴۸۰ <sup>st</sup>	۰/۲۵۷ <sup>n-q</sup>	۰/۲۲۳ <sup>k-o</sup>	۱/۰۶۹ <sup>a</sup>	۲۴/۶ <sup>a</sup>	۰/۶۴۲ <sup>ijk</sup>	۶۵/۱ <sup>a-h</sup>	۳۰		
۱/۰۱۹ <sup>ab</sup>	۰/۴۸۶ <sup>ab</sup>	۰/۵۳۳ <sup>a</sup>	۰/۳۷۷ <sup>rs</sup>	۷/۳ <sup>l</sup>	۰/۹۸۲ <sup>c</sup>	۴۱/۲ <sup>q</sup>	۱۰۰		
۰/۹۷۵ <sup>bcd</sup>	۰/۴۶۷ <sup>a-d</sup>	۰/۵۰۸ <sup>a</sup>	۰/۴۶۱ <sup>p-s</sup>	۸/۶ <sup>rst</sup>	۰/۹۵۳ <sup>cd</sup>	۴۶/۵ <sup>opq</sup>	۷۵		
۰/۵۳۵ <sup>o-r</sup>	۰/۲۷۳ <sup>m-q</sup>	۰/۲۶۱ <sup>i-l</sup>	۰/۵۷۸ <sup>k-q</sup>	۱۱/۹ <sup>m-p</sup>	۰/۶۱۶ <sup>i-l</sup>	۶۹/۵ <sup>a-d</sup>	۵۰		
۰/۴۰۵ <sup>u</sup>	۰/۲۲۲ <sup>q</sup>	۰/۱۸۳ <sup>o</sup>	۰/۶۲۶ <sup>h-m</sup>	۱۶/۸ <sup>fgh</sup>	۰/۴۴۸ <sup>n</sup>	۷۱/۵ <sup>abc</sup>	۳۰		
۰/۹۶۱ <sup>cd</sup>	۰/۴۳۶ <sup>bcd</sup>	۰/۵۲۴ <sup>a</sup>	۰/۵۸۶ <sup>k-p</sup>	۸/۰ <sup>st</sup>	۰/۹۰۴ <sup>d</sup>	۴۷/۵ <sup>n-q</sup>	۱۰۰		
۰/۹۱۴ <sup>e</sup>	۰/۴۴۸ <sup>a-d</sup>	۰/۴۶۶ <sup>b</sup>	۰/۶۲۶ <sup>h-m</sup>	۹/۲ <sup>q-t</sup>	۰/۸۲۵ <sup>ef</sup>	۴۴/۹ <sup>pq</sup>	۷۵	۵	
۰/۶۱۶ <sup>lm</sup>	۰/۳۶۲ <sup>f-i</sup>	۰/۲۵۴ <sup>i-l</sup>	۰/۶۸۸ <sup>f-l</sup>	۸/۹ <sup>rst</sup>	۰/۶۹۲ <sup>hi</sup>	۵۲/۰ <sup>j-p</sup>	۵۰		
۰/۴۶۴ <sup>t</sup>	۰/۲۴۳ <sup>pq</sup>	۰/۲۲۰ <sup>l-o</sup>	۰/۷۰۶ <sup>e-k</sup>	۱۸/۷ <sup>def</sup>	۰/۵۵۵ <sup>lm</sup>	۵۶/۲ <sup>h-n</sup>	۳۰		
۰/۸۵۸ <sup>f</sup>	۰/۳۶۱ <sup>f-i</sup>	۰/۴۹۶ <sup>ab</sup>	۰/۶۱۳ <sup>i-m</sup>	۹/۴ <sup>q-t</sup>	۰/۷۹۱ <sup>efg</sup>	۴۶/۱ <sup>opq</sup>	۱۰۰		
۰/۷۶۰ <sup>gh</sup>	۰/۳۶۳ <sup>f-i</sup>	۰/۳۹۷ <sup>c</sup>	۰/۶۳۰ <sup>g-m</sup>	۱۱/۳ <sup>n-q</sup>	۰/۷۳۷ <sup>gh</sup>	۴۹/۴ <sup>l-q</sup>	۷۵	۱۰	سبز
۰/۶۱۸ <sup>lm</sup>	۰/۳۲۱ <sup>h-m</sup>	۰/۲۹۶ <sup>ghi</sup>	۰/۷۲۴ <sup>c-j</sup>	۱۰/۶ <sup>o-r</sup>	۰/۶۸۴ <sup>hi</sup>	۵۰/۲ <sup>k-q</sup>	۵۰		
۰/۵۰۱ <sup>q-t</sup>	۰/۲۹۳ <sup>k-p</sup>	۰/۲۰۸ <sup>mno</sup>	۰/۷۷۲ <sup>b-f</sup>	۱۳/۸ <sup>j-m</sup>	۰/۶۲۱ <sup>i-l</sup>	۶۰/۹ <sup>d-j</sup>	۳۰		
۰/۸۰۲ <sup>g</sup>	۰/۴۱۵ <sup>def</sup>	۰/۳۸۷ <sup>cd</sup>	۰/۷۶۱ <sup>b-g</sup>	۹/۰ <sup>rst</sup>	۰/۶۸۰ <sup>hi</sup>	۵۳/۹ <sup>i-p</sup>	۱۰۰		
۰/۷۳۲ <sup>hi</sup>	۰/۳۴۰ <sup>g-l</sup>	۰/۳۹۲ <sup>c</sup>	۰/۷۰۸ <sup>d-k</sup>	۱۳/۶ <sup>j-n</sup>	۰/۶۸۴ <sup>hi</sup>	۵۶/۶ <sup>g-n</sup>	۷۵	۱۵	
۰/۵۷۴ <sup>mno</sup>	۰/۲۹۰ <sup>l-p</sup>	۰/۲۸۵ <sup>g-j</sup>	۰/۷۹۸ <sup>b-f</sup>	۱۴/۴ <sup>i-l</sup>	۰/۶۶۱ <sup>hij</sup>	۶۲/۴ <sup>d-i</sup>	۵۰		
۰/۴۹۳ <sup>rst</sup>	۰/۲۴۶ <sup>pq</sup>	۰/۲۴۶ <sup>j-m</sup>	۰/۸۲۸ <sup>b-e</sup>	۱۳/۳ <sup>k-n</sup>	۰/۶۰۶ <sup>ijkl</sup>	۷۰/۷ <sup>abc</sup>	۳۰		
۰/۷۸۲ <sup>gh</sup>	۰/۴۴۵ <sup>a-d</sup>	۰/۳۳۶ <sup>ef</sup>	۰/۷۲۸ <sup>c-j</sup>	۹/۳ <sup>q-t</sup>	۰/۶۸۵ <sup>hi</sup>	۵۹/۵ <sup>e-j</sup>	۱۰۰		
۰/۷۴۸ <sup>h</sup>	۰/۳۴۰ <sup>g-l</sup>	۰/۴۰۸ <sup>c</sup>	۰/۷۵۴ <sup>c-h</sup>	۱۰/۸ <sup>o-r</sup>	۰/۶۶۹ <sup>hij</sup>	۴۹/۰ <sup>m-q</sup>	۷۵	۲۰	
۰/۵۴۹ <sup>opq</sup>	۰/۳۳۷ <sup>g-l</sup>	۰/۲۱۲ <sup>mno</sup>	۰/۸۰۸ <sup>b-f</sup>	۱۱/۷ <sup>m-p</sup>	۰/۶۲۲ <sup>i-l</sup>	۵۶/۰ <sup>h-n</sup>	۵۰		
۰/۵۱۳ <sup>p-s</sup>	۰/۲۹۲ <sup>l-p</sup>	۰/۲۲۲ <sup>k-o</sup>	۰/۸۵۲ <sup>bc</sup>	۲۰/۴ <sup>cd</sup>	۰/۶۲۲ <sup>i-l</sup>	۶۲/۶ <sup>d-i</sup>	۳۰		

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون دانکن ندارند.

تیمار پرتو ماورای بنفش، ۴۱/۷ درصد در تیمار کم‌آبیاری (جدول ۲) و ۶۲/۹ درصد در تیمار توأم نسبت به شاهد بوده است (جدول ۳). میزان پرولین نیز بین دو رقم اختلاف معنی‌دار داشت به طوری که رقم بنفش دارای میزان پرولین بیشتری (حدود ۳۳/۴ درصد) نسبت به رقم سبز بود. همچنین، بر اساس نتایج حاصل از برهمکنش پرتو ماورای بنفش و تنش کم‌آبیاری، بیشترین میزان پرولین مربوط به تیمار توأم UV ۲۰ دقیقه در روز، آبیاری ۳۰٪ گنجایش زراعی و رقم بنفش و کمترین میزان پرولین مربوط به تیمار توأم UV صفر دقیقه، آبیاری ۱۰٪ گنجایش زراعی و رقم سبز به دست آمد. تیمار توأم پرتو ماورای بنفش و کم‌آبیاری اثر بیشتری در افزایش میزان پرولین نسبت به هر یک از تیمارها به صورت تنهایی داشت (جدول ۳).

### بحث

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که سطوح پایین تابش پرتو ماورای بنفش بر ارتفاع ساقه نسبت به شاهد اثرگذار نبود. ولی با افزایش طول مدت تابش، ارتفاع ساقه و طول ریشه کاهش یافتند. کاهش رشد طولی ساقه و ریشه در سطوح بالاتر تابش پرتو ماورای بنفش به دلیل کاهش تقسیم سلولی در اثر متأثر شدن DNA برای همانندسازی است. به طوری که پرتو ماورای بنفش باعث تولید دیمرهاى پریمیدن سیکلوتان می‌شوند که DNA پلی‌مراز قادر به خواندن آنها برای رونویسی نیست (۱۱ و ۵۱). عدم کاهش ارتفاع ساقه در طول مدت پنج دقیقه نشان‌دهنده آن است که پرتو UV-B با انرژی کمتر اثر چندانی در تخریب همانندسازی DNA ندارد (۲۲). کاهش رشد طولی ساقه تحت پرتو UV-B روی گیاه فلفل قلمی و کدو نیز گزارش شده است (۱۸ و ۲۳). تنش خشکی از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای و کاهش جذب CO<sub>2</sub> و همچنین تجمع آبسزیک اسید (ABA) باعث کاهش رشد می‌شود (۳۴). تنش خشکی از طریق کاهش در رشد سلول، حجم سلول و تعداد سلول‌ها باعث کاهش در طول میان‌گره‌های ساقه و در نهایت کاهش در ارتفاع گیاه می‌شود (۵۰). اما کاهش رشد ناشی از تیمار UV-B که از کاهش

کاروتنوئید در تیمار توأم UV صفر، آبیاری ۳۰٪ گنجایش زراعی و رقم سبز به دست آمده است. میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی در کاربرد توأم پرتو ماورای بنفش و تنش کم‌آبیاری نسبت به کاربرد یکی از آنها متفاوت است. کم‌آبیاری به تنهایی اثر کاهشی بیشتری بر رنگدانه‌های فتوسنتزی داشته است. ولی با کاربرد توأم دو تیمار، از آثار کاهشی بیشتر جلوگیری شده است (جدول ۳).

### محتوای مالون دی‌آلدئید

بر اساس نتایج به دست آمده، اثر رقم، سطوح پرتو ماورای بنفش، سطوح کم‌آبیاری و برهمکنش تیمارها بر مقدار مالون دی‌آلدئید معنی‌دار شد (جدول ۱). محتوای مالون دی‌آلدئید در سطوح بالای تابش پرتو ماورای بنفش و تنش کم‌آبیاری نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار را نشان می‌دهد، به طوری که این اختلاف به ترتیب حدود ۷/۶ و ۱۵/۵ درصد است. اما این تیمارها در سطوح پایین اختلاف معنی‌دار با شاهد ندارند. به این معنی که هر چقدر مدت تابش نور ماورای بنفش و همچنین شدت تنش کم‌آبیاری زیادتر شود، محتوای مالون دی‌آلدئید، یا همان پراکسیداسیون لیپیدها، زیادتر خواهد شد. مقدار پراکسیداسیون لیپیدها در سطوح شدید تنش کم‌آبیاری نسبت به تابش پرتو ماورای بنفش حدود ۲۷/۷ درصد بیشتر بوده است که نشان‌دهنده آثار بیشتر کم‌آبیاری نسبت به تابش پرتو ماورای بنفش بر پراکسیداسیون لیپیدها است. همچنین، بیشترین مقدار مالون دی‌آلدئید در تیمار توأم رقم بنفش، UV ۱۵ دقیقه در روز و آبیاری ۵۰٪ گنجایش زراعی، به دست آمد و کمترین مقدار مالون دی‌آلدئید در تیمار شاهد و رقم‌های سبز و بنفش مشاهده شد (جدول ۳).

### میزان پرولین

نتایج نشان می‌دهد که تیمارهای پرتو ماورای بنفش، کم‌آبیاری، و برهمکنش آنها بر افزایش میزان پرولین در هر دو رقم ریحان اثر معنی‌دار داشته است. این افزایش حدود ۱۹/۲ درصد در

(۲۳) که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد. افزایش ضخامت برگ یک مکانیزم حفاظتی بوده و باعث افزایش مقاومت در برابر پرتو ماورای بنفش می‌شود و خسارت به بافت‌های فتوسنتز کننده را کاهش می‌دهد (۲۲). افزایش ضخامت برگ از اثر پرتو ماورای بنفش در گیاه فلفل قلمی نیز گزارش شده است (۲۳).

بر اساس نتایج این پژوهش، پرتو ماورای بنفش ابتدا بر مقدار ماده خشک گیاه اثر افزایشی داشته و در طول مدت ۵ دقیقه در روز وزن خشک ریشه و ساقه نسبت به شاهد افزایش یافته است و سپس با افزایش طول مدت تابش دوباره کاهش یافته است. ولی به صورت کلی، وزن خشک ساقه در سطوح بالاتر تابش با شاهد اختلاف معنی‌دار ندارد. بر اساس گزارش‌ها، برگ‌های ثانویه پس از اعمال تیمار UV سریع رشد کردند که به دلیل تغییر متابولیسم فیتوهورمون‌ها است (۱۴). از ۴۰ پژوهش انجام‌شده بر روی ۲۳ نوع گیاه مختلف، ۵۵٪ گزارش کردند که وزن خشک گیاه در اثر پرتو ماورای بنفش کاهش می‌یابد، حدود ۳۵٪ گزارش کرده‌اند که پرتو ماورای بنفش بر وزن خشک گیاه اثرگذار نیست و ۵٪ نیز گزارش کردند که وزن خشک گیاه در اثر پرتو ماورای بنفش افزایش می‌یابد. تنوع این یافته‌ها به دلیل تفاوت در نوع گیاه و رقم بوده و همچنین به مقدار تابش بستگی دارد (۱۲). از طرفی، افزایش سطح برگ و تعداد برگ در طول مدت تابش ۵ دقیقه با افزایش مقدار ماده خشک همبستگی دارد. همچنین، افزایش مقدار ماده خشک در گیاه ریحان سبز تحت پرتو UV گزارش شده است (۱۲ و ۱۴). نتایج نشان می‌دهد که مقدار ماده خشک در هر دو رقم ریحان تحت تنش کم‌آبیاری به ترتیب نسبت به شاهد به‌طور معنی‌دار کاهش یافته است. ولی در اثر برهمکنش کم‌آبیاری و پرتو ماورای بنفش از کاهش بیشتر ماده خشک جلوگیری شده است که حالت هم‌افزایی را نشان می‌دهد. کاهش مقدار ماده خشک تحت تنش کم‌آبیاری در گیاه ریحان (رقم سبز) و گندم نیز گزارش شده است (۳ و ۵۲). کاهش وزن خشک اندام‌های گیاه تحت تنش کم‌آبی می‌تواند به علت عدم دسترسی کافی به آب

ناحیه میان‌گره ناشی می‌شود ممکن است به دلیل اختلال در سرعت و مدت زمان لازم برای تقسیم و گسترش سلولی و یا به دلیل اکسیداسیون ایندول استیک اسید در حضور پرتو UV-B باشد (۳۳). براساس نتایج حاصل، رشد طولی ریشه در اثر تنش خشکی ابتدا افزایش یافته و سپس کاهش یافت که دلیل آن محدودیت رشد در اثر تنش‌های شدید است. در پژوهش‌های پیشین، کاهش رشد طولی ساقه در اثر اعمال تنش خشکی در گیاه ریحان گزارش شده است (۳۲).

بر اساس نتایج به‌دست آمده، خشکی اثر بیشتری در کاهش سطح برگ و تعداد برگ نسبت به پرتو ماورای بنفش داشته است. ولی پرتو ماورای بنفش در ابتدا اثر افزایشی در سطح برگ نسبت به شاهد را داشته به‌طوری که در طول مدت تابش ۵ دقیقه، سطح برگ و تعداد برگ افزایش یافته و سپس با افزایش مدت تابش دوباره حالت کاهش را داشته است. بر اساس گزارش‌ها، استفاده از پرتو UV-B با شدت کم و کوتاه مدت باعث افزایش پارامترهای رشدی و ویژگی‌های بیوشیمیایی در ریحان می‌شود. ولی با افزایش شدت و با دوره بیشتر، پارامترهای رشدی و بیوشیمیایی کاهش می‌یابند (۲۵). چون در تیمار توأم از کاهش بیشتر سطح برگ جلوگیری شده است، لذا می‌توان بیان داشت که این دو تنش با هم اثر هم‌افزایی دارند. کم‌آبیاری می‌تواند از طریق کاهش فتوسنتز باعث کاهش سطح برگ در گیاهان شود. همچنین، کم‌آبیاری مانع تقسیم سلولی و رشد نقاط مریستمی می‌شود که می‌تواند منجر به کاهش سطح برگ در گیاه شود (۵۴). کاهش سطح برگ و افزایش تعداد و ضخامت برگ‌ها می‌تواند مکانیزم مناسب برای خنثی کردن اثرهای پرتو ماورای بنفش در گیاه باشد. افزایش تعداد برگ در رقم سبز نسبت به سطح برگ نشان‌دهنده مکانیزم حفاظتی گیاه در برابر پرتوهای فرابنفش است. کاهش سطح برگ در گیاه کدو در اثر کاربرد پرتو ماورای بنفش، خشکی و کاربرد توأم آنها گزارش شده است (۱۸). همچنین، کاهش سطح برگ در گیاه فلفل قلمی و افزایش سطح برگ در گیاه ریحان تحت پرتو ماورای بنفش نیز به چاپ رسیده است (۱۴ و

تابش پرتو ماورای بنفش و کم‌آبی متفاوت است که هم‌افزایی این دو تنش نسبت به همدیگر و نقش پرتو ماورای بنفش در ایجاد میکانسم دفاعی در کاهش پراکسیداسیون لیپیدها در اثر تنش‌های شدید کم‌آبایی را بیان می‌کند. افزایش میزان مالون دی‌آلدئید در اثر اعمال پرتو فرابنفش و تنش کم‌آبی و آثار توأم پرتو ماورای بنفش و کم‌آبی به ترتیب در گیاه بادرنجبویه، چمن آگروپرون و کاهو نیز گزارش شده است (۲ و ۸).

کاهش کلروفیل به دلیل کاهش سنتز آن و یا کاهش فعالیت کلروفیل‌از یا فتواکسیداسیون غیرآنزیمی کلروفیل در اثر تابش پرتو ماورای بنفش است (۴۰). کاهش میزان کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کلروفیل کل و میزان کاروتنوئید در اثر اعمال سطوح مختلف پرتو ماورای بنفش در گیاه چغندر قند نیز گزارش شده است (۳۰).

کاهش کلروفیل در اثر تنش خشکی عمدتاً به دلیل آسیب دیدن کلروپلاست‌ها به وسیله رادیکال‌های آزاد و جلوگیری از سنتز رنگزه‌ها است (۲۸). همچنین، از نتایج معلوم می‌شود که شرایط توأم کم‌آبایی و پرتو ماورای بنفش اثر کاهشی کمتری بر میزان کلروفیل *a* و *b*، کلروفیل کل و کاروتنوئید نسبت به شرایط کم‌آبایی به تنهایی را داشته است که این خود نوعی هم‌افزایی را نشان می‌دهد. گفته شده است که کاهش کاروتنوئید تحت تنش‌های محیطی می‌تواند به علت تبدیل آن به آبسزیک اسید باشد که عموماً تحت تنش‌های محیطی مقدار آن افزایش می‌یابد. همچنین، کاروتنوئید قادر است تا طول موج‌های کوتاه نوری را نیز دریافت کند (۴). کاهش میزان کلروفیل و کاروتنوئید در اثر اعمال تابش UV و تنش کم‌آبایی و همچنین افزایش میزان کاروتنوئید در اثر اعمال توأم تابش UV و تنش کم‌آبایی در گیاه گندم نیز گزارش شده است که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد (۴۳ و ۴۶). طی یک بررسی گزارش شده است که تابش پرتو ماورای بنفش تأثیر کم‌آبایی بر محتوای نسبی آب برگ در آرابیدوپسیس را از طریق انگیزش سریع اسمولیت‌ها و پروتئین‌های سازگار، کاهش می‌دهد (۴۵). کاهش محتوای نسبی آب برگ در اثر تنش کم‌آبایی در گیاه

برای آماس سلول‌ها و در نتیجه کاهش رشد و تقسیم سلولی باشد. کاهش سطح رویشی نیز سبب می‌شود تا توانایی گیاه برای جذب نور و در نهایت تولید مواد فتوسنتزی کاهش یابد که خود دلیلی بر کاهش رشد گیاه و وزن اندام‌ها است (۳۱ و ۳۶).

بر اساس نتایج به دست آمده، میزان آنتوسیانین تحت تیمار پرتو UV و همچنین تنش کم‌آبایی و برهمکنش آنها نسبت به شاهد افزایش یافته است. ولی پرتو ماورای بنفش نسبت به کم‌آبایی آثار افزایشی بیشتری بر مقدار آنتوسیانین داشته است که نوعی سیستم حفاظتی در جذب پرتو ماورای بنفش است. مواد جذب‌کننده UV که شامل محتوای سینامیک اسید مانند آنتوسیانین‌ها هستند می‌توانند در اپیدرم و واکوئل‌های سلول تجمع یابند و به صورت یک بخش در کوتیکول قرار گیرند که این تجمع نیز نوعی مکانیزم حفاظتی در برابر نفوذ پرتو UV است (۶ و ۲۴). بر اساس نتایج پژوهش حاضر، تیمار توأم در سطوح بالا، اثر افزایشی بیشتری بر میزان آنتوسیانین داشته است. افزایش میزان آنتوسیانین در گیاه بادرنجبویه تحت پرتو ماورای بنفش گزارش شده است (۲). عوامل محیطی تنش‌زا، از جمله کم‌آبی، باعث تجمع رنگدانه‌ها در برگ‌ها می‌شوند. از نقش‌های اصلی آنتوسیانین‌ها می‌توان به نقش آنتی‌اکسیدانی و محافظت سیستم فتوسنتزی در برابر اکسیدهای نوری اشاره کرد که در گیاهان در حال تنش، سیستم حفاظتی را ایجاد می‌کند (۱۹ و ۳۵). کاربرد توأم پرتو ماورای بنفش و تنش کم‌آبایی سبب افزایش محتوای جذب UV، به ویژه آنتوسیانین، در گیاه کاهو شده است (۸).

پرتوهای پرتو ماورای بنفش باعث تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن‌زا می‌شوند. مالون دی‌آلدئید محصول پراکسیداسیون سلولی در اثر حمله رادیکال‌های فعال اکسیژن به اسیدهای چرب غیراشباع است (۴۸). سطوح بالای تابش پرتو ماورای بنفش سبب افزایش ۷۵ درصدی میزان مالون دی‌آلدئید در چغندر قند شده است (۳۰). همچنین، بر اساس نتایج به دست آمده، مقدار مالون دی‌آلدئید در شرایط کم‌آبایی و شرایط توأم

باشد. تنش کم‌آبیاری اثر تنشی بیشتری (در حدود ۴۶/۳ درصد) نسبت به تابش پرتو ماورای بنفش در کاهش صفات اندازه‌گیری شده ریحان داشت. تنش کم‌آبیاری به‌تنهایی سبب کاهش بیشتر شاخص‌های رشدی مانند رنگیزه‌های فتوسنتزی و وزن خشک ساقه و ریشه، سطح برگ، و تعداد برگ، در مجموع به‌میزان ۶۶/۳ درصد، نسبت به شاهد شد. با کاربرد توأم تابش پرتو ماورای بنفش و تنش کم‌آبیاری آثار کاهش‌ی مهار شده است که حالت هم‌افزایی آنها را نشان داده و می‌تواند بر افزایش مقاومت گیاه در شرایط کم‌آبی اثرگذار باشد. همچنین، بر اساس تمامی پارامترهای اندازه‌گیری شده، ریحان بنفش نسبت به ریحان سبز حساسیت کمتری از نظر کاهش برخی از صفات اندازه‌گیری شده مانند رنگیزه فتوسنتزی نشان داد که می‌تواند رقم مناسب‌تر نسبت به رقم سبز در شرایط تنش کم‌آبیاری باشد.

### سپاسگزاری

اعمال تیمارها و اندازه‌گیری پارامترهای رشدی این پژوهش در گلخانه و آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشکده تولید گیاهی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد، که جا دارد از گروه علوم باغبانی، و همکاری کارشناس آزمایشگاه گروه علوم باغبانی جناب آقای مهندس صادق آتشی تشکر و قدردانی شود.

ریحان، گندم و کدو نیز گزارش شده است (۱۷، ۱۸ و ۲۷). طی تنش کم‌آبیاری، گیاهان با ذخیره مواد تنظیم‌کننده اسمزی مانند پرولین، سعی در مقابله با تنش دارند (۴۴). پرولین نقش کلیدی را در تعادل سیتوپلاسم در اکثر گونه‌های گیاهی دارد. از این‌رو، در مقاومت کلی گیاه در برابر شرایط تنش کم‌آبی تأثیر بیشتری دارد (۳۴). افزایش میزان پرولین در اثر تنش خشکی در گیاه کاهو و ریحان رقم سبز نیز گزارش شده است (۳ و ۴۲). با کاهش مقدار آب خاک، پتانسیل آب و میزان نسبی آب برگ کاهش یافته اما دمای برگ، میزان پرولین و قندهای محلول در گیاه آنیسون افزایش یافت (۴۷). نتایج این پژوهش نشان داد که گیاه ریحان به‌هنگام مواجه با شرایط کم‌آبی، با بستن روزنه‌ها و افزایش انباشت پرولین (تنظیم اسمزی) واکنش نشان می‌دهد.

### نتیجه‌گیری

براساس نتایج حاصل از این پژوهش، طول مدت تابش پرتو ماورای بنفش و کم‌آبیاری باعث تغییرات چشم‌گیری در فعالیت‌های مورفولوژیک و بیوشیمیایی هر دو رقم ریحان می‌شود که دامنه این تغییرات به برهمکنش آنها وابسته است. طول مدت تابش پنج دقیقه سبب افزایش وزن خشک ساقه و ریشه، سطح برگ و تعداد برگ نسبت به شاهد شد که با افزایش مجدد طول مدت تابش دوباره، کاهش یافت. افزایش همزمان سطح برگ و تعداد برگ و وزن تازه و خشک گیاه می‌تواند به‌عنوان یک شاخص مهم در بازارپسندی گیاه از لحاظ کمی و کیفی

### منابع مورد استفاده

1. Abady, A., H. Haydari Sharifabad, A. Hashemy Dezfully and Tahmasabi, Z. 2001. Effect of water deficit stress on accumulation of compatibility metabolites in different alfalfa varieties. Res. Creation 48: 64–68. (In Persian)
2. Abedzadeh, M. and L. Pourakbar. 2013. The interactions of UV-B and UV-C radiation and salicylic acid on some physiological and biochemical parameters in *Melissa officinalis* L. Plant Process Funct. 3(2): 1–15. (In Persian)
3. Afkari, A. 2018. Effects of drought stress and nitrogen fertilizer rate on some physiological characteristics, essential oil percentage, and yield of basil (*Ocimum basilicum* L.). Iran. J. Med. Aromat. Plants 33(6): 1047–1059. (In Persian)
4. Allen, D.J., S. Nogues and N.R. Baker. 1998. Ozone depletion and increased UV-B radiation: Is there a real threat to photosynthesis? J. Exp. Bot. 328: 1775–1788.
5. Angell, J.K. and J. Korshover. 1973. Quasi-biennial and long-term fluctuations in total ozone. Mon. Weather Rev. 101: 426–443.

6. Balouchi, H.R., S.A.M. Sanavy, Y. Emam and A. Dolatabadian. 2009. UV radiation, elevated CO<sub>2</sub> and water stress effect on growth and photosynthetic characteristics in durum wheat. *Plant Soil Environ.* 55: 443–453.
7. Barnes, J.D., L. Balaguer, E. Manrique, S. Elvira and A.W. Davison. 1992. A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophylls a and b in lichens and higher plants. *Environ. Exp. Bot.* 32: 85–100.
8. Basahi, J.M., I.I. Iqbal and A.H. Ibrahim. 2014. Effect of enhanced UV B radiation and drought stress on photosynthetic performance of lettuce plant. *J. Ann. Res. Rev. Biol.* 4(11): 1739–1756.
9. Bates, L. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil* 39(1): 205–207.
10. Bernal, M., V. Dolors, J. Badosa, A. Abadia, J. Lusía, J. Penuelas, E. Nunez-Olivera and L. Llorens. 2015. Effects of enhanced UV radiation and water availability on performance, biomass production and photoprotective mechanisms of *Laurus nobilis* seedlings. *Environ. Exp. Bot.* 109: 264–275.
11. Buchholz, G., B. Ehmann and E. Wellman. 1995. Ultraviolet light inhibition of phytochrome-induced flavonoid biosynthesis and DNA photolyase formation in mustard cotyledons *Synapis alba* L. *Plant Physiol.* 108: 227–234.
12. Chang, X., P.G. Alderson and C.J. Wright. 2009. Enhanced UV-B radiation alters basil (*Ocimum basilicum* L.) growth and stimulates the synthesis of volatile oils. *J. Hort. Sci. Biotech.* 1(2): 27–31.
13. Cirak, C. and E. Esendal. 2006. Drought stress of soybean. *J. Fac. Agric.* 21: 231–237.
14. Ciurli, A., H. Reyes and L. Gajlielminetti. 2017. Commercial advantage on basil architecture by ultraviolet-B irradiation. *J. Adv. Hort. Sci.* 31(3): 215–221.
15. Davis, J.M. 1997. North Carolina basil production guide. North Carolina Cooperative Extension Service, N. C. State University, Raleigh, pp. 7–125.
16. Escobar-Bravo, R., P.G.L. Klinkhamer and K.A. Leiss. 2017. Interactive effects of UV-B light with abiotic factors on plant growth and chemistry, and their consequences for defense against arthropod herbivores. *Front. Plant Sci.* 8: 1–14.
17. Feng, H., S.W. Li, L. Xue, L. An and X.L. Wang. 2007. The interactive effects of enhanced UV-B radiation and soil drought on spring wheat. *South Afr. J. Bot.* 73: 429–434.
18. Hajihosseini, N., S. Hosseini and R. Jamei. 2015. The study of interactive effects of UV-B radiation and drought stress on some physiological traits of two cultivars of gourd (*Cucurbita pepo* L.). *J. Plant Physiol. Biochem. Iran* 2(1): 16–26. (In Persian)
19. He, F., L. Mu, G.L. Yan, N. Liang, Q. Pan, J. Wang, M. Reeves and C. Duan. 2010. Biosynthesis of anthocyanins and their regulation in colored grapes. *Molecules* 15: 9057–9091.
20. Heath, R.L. and L. Packer. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. *Arch. Biochem. Biophys.* 125: 189–198.
21. Heydari, N., M. Poruosf and A. Tavakoli. 2014. Effect of drought stress on photosynthesis, its dependent parameters and relative water content of Anisone (*Pimpinella anisum* L.). 27: 829–839. (In Persian)
22. Hollosy, F. 2002. Effect of ultraviolet radiation on plant cells. *Micron.* 33: 179–197.
23. Hosseini, S., J. Carapetian and J. Khara. 2011. The effects of UV radiation on some structural and ultrastructural processes in pepper (*Capsicum longum* A. DC.). *Turk. J. Biol.* 35(1): 69–77.
24. Indrajith, A. and K.C. Ravindran. 2009. Antioxidant potential of Indian medicinal plant *Phyllanthus amarus* L. under supplementary UV-B radiation. *Recent Res. Sci. Technol.* 1: 034–039.
25. Jurga, S., P. Viskelis, E. Dambrauskiene, S. Sakalauskiene, G.E. Samuoliene, A. Brazaityte, P. Duchovskis and D. Urbonaviciene. 2013. The effects of different UV-B radiation intensities on morphological and biochemical characteristics in *Ocimum basilicum* L. *J. Sci. Food Agric.* 93: 1266–1271.
26. Kacar, B., V. Katkat and S. Ozturk. 2009. *Plant Physiology*. Nobel Publishing, ISBN: 975: 591–833–7.
27. Kafi, M. and A.M. Damghani. 2004. *Mechanisms of Environmental Stress Resistance in Plants*. Soilless Culture Research Center, Ferdowsi University Press, Mashhad, Iran.
28. Kafi, M., A. Borzoei, M. Salehi, A. Kamandi, A. Masoumi and J. Nabati. 2010. *Physiology of Environmental Stress in Plants*. Jihad Publication, Mashhad University, 3: 17–456. (In Persian)
29. Kamali, M., M. Shour, A. Tehranifar, M. Goldani and Y. Salahvarzi, 2015. Effect of salt stress and increasing carbondioxide on proline accumulation, carbohydrates and other morphophysiological characteristics of *Amaranthus tricolor*. *J. Sci. Technol. Greenhouse Culture* 5(4): 229–239.
30. Karvansara, R.R. and M. Razavi, S. 2019. Physiological and biochemical responses of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) to ultraviolet-B radiation. *Peer J.* 1: 1–19.
31. Kheirandish, E., M. Roshdi and S. Yousefzadeh. 2016. Effects of water stress and nitrogen fertilizer on quantitative and qualitative characteristics of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). *Electronic J. Crop Prod.* 9(1): 109–125.
32. Kordi, S., M. Saidi and F. Ghanbari. 2013. Induction of drought tolerance in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) by salicylic acid. *Int. J. Agric. Food Res.* 2: 18–26.

33. Krizek, D.T., S.J. Brita and R.M. Miewcki. 1998. Inhibitory effects of ambient level of solar UV-A and UV-B on growth of cv. New Red Fire lettuce. *Physiol. Plant.* 103: 1–7.
34. Lisar, S.Y., R. Motafakkerzad, M. Mosharraf, M. Ismail and M. Rahman. 2012. Water stress in plants: Causes, effects and responses. In: Rahman, IMM and H. Hasegawa (Eds.), *Water Stress*, InTech, NY.
35. Lutz, C., E. Schonauer and G. Neuner. 2005. Physiological adaptation to early spring conditions in green overwintering leaves of some alpine plants. *Phyton* 45: 139–156.
36. Misra, A. and N.K. Srivastava. 2000. Influence of water stress on Japanese mint. *J. Herbs Spices Medicinal Plants* 7(1): 51–58.
37. Morrisette, P.M. 1995. The evolution of policy responses to stratospheric ozone depletion. *Nat. Resour. J.* 29: 793–820.
38. Movahedi Naeini, S.A. and M. Rezaei. 2009. *Soil Physics*. Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, pp. 323–327. (In Persian)
39. Omid Bagge, R. 2001. *Production Approaches and Processes of Medicinal Plants*. Tarahan Publisher, 286 p. (In Persian)
40. Piri, E., M. Babaeian, A. Tavassoli and Y. Esmailian. 2011. Effects of UV irradiation on plants. *Afr. J. Microbiol. Res.* 5(14): 1710–1716.
41. Pirzad, A., M.R. Shakiba, S. Zehtab-Salmasi, S.A. Mohammadi, R. Darvishzadeh and A. Samadi. 2011. Effect of water stress on leaf relative water content, chlorophyll, proline and soluble carbohydrates in *Matricaria chamomilla* L. *J. Med. Plants Res.* 5(12): 2483–2488.
42. Rajabbeigi, E., I. Eichholz, N. Beesk, Ch. Ulrich, L.W. Kroh, S. Rohn and S.H. Kiel. 2013. Interaction of drought stress and UV-B radiation impact on biomass production and flavonoid metabolism in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *J. Appl. Bot. Food Qual.* 86: 190–197.
43. Rezaei Far, Z., S. Fallahi and E. Gholinezhad. 2017. The effect of drought stress and ultraviolet on antioxidant defensive system of enzyme and non-enzyme in three varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Process Function* 7(24): 155–177. (In Persian)
44. Sajjadi, S.E. 2006. Analysis of the essential oils of two cultivated basil (*Ocimum basilicum* L.) from Iran. *Daru* 14(3): 128–130.
45. Schmidt A.M., D.P. Ormrod, N.J. Livingstone and S. Misra. 2000. The interaction of ultraviolet-B radiation on water deficit in two *Arabidopsis thaliana* genotypes. *Ann. Bot.* 85: 571–575.
46. Shahbazi, H., A. Arzani and M.A. Moqadam. 2016. Investigation of drought stress in new wheat inbred lines. *Plant Process Function* 15(5): 123–131. (In Persian)
47. Turknejad, A. and Haydari Sharifabad, H. 2001. Drought resistance index in some alfalfa species. *Res. Creation* 48: 10–14. (In Persian)
48. Tuteja, N. and S.S. Gill. 2013. *Crop Improvement under Adverse Conditions*. Springer-Verlag, New York, 1: 1–35.
49. Wanger, G.J. 1979. Content and vacuole distribution of neutral sugars, free amino acid, and anthocyanins in protoplast. *Plant Physiol.* 64: 88–93.
50. Yao, Y., Z. Xuan, Y. Li, Y. He, H. Korplainen and C. Li. 2006. Effects of ultraviolet-B radiation on crop growth, development, yield and leaf pigment concentration of tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*) under field conditions. *Eur. J. Agron.* 25: 215–222.
51. Yao, Y., C.H. Danna, F.J. Zemp, V. Titov, O.C. Nazem and R. Przybylski. 2011. UV-C-irradiated arabidopsis and tobacco emit volatiles that trigger genomic instability in neighboring plants. *The Plant Cell* 23: 3842–3852.
52. Zaki, R.N. and T.E. Radwan. 2011. Improving wheat grain yield and its quality under salinity conditions at a newly reclaimed soil by using different organic sources as soil or foliar applications. *J. Appl. Sci. Res.* 7: 42–55.
53. Ziaei, M., M. Sharifi, H. Naghdi Abadi, J. Tahsili and M. Ghorbani Nohooji. 2014. A review on *Ocimum basilicum* L. medicinal plant with a focus on the most important secondary compounds and its medicinal and agronomic properties. *J. Medicinal Plants* 52(4): 26–41. (In Persian)
54. Zubaer, M.A., A.K. Chowdhury, M.Z. Islam, T. Ahmed and M.A. Hasan. 2007. Effect of water stress on growth and yield attributes of Aman rice genotypes. *Int. J. Sustain. Crop Prod.* 2(6): 25–30.



## Morphological and Biochemical Responses of Basil Plant Under Ultraviolet Radiation-B and Deficit Irrigation Under Greenhouse Conditions

W.A. Mohammady<sup>1</sup>, H. Zarei<sup>1\*</sup> and S. J. Mousavizadeh<sup>1</sup>

(Received: 6 July 2019 ; Accepted: 11 December 2019)

### Abstract

Environmental stresses such as deficit irrigation and ultraviolet radiation can influence plant growth and development. Among the environmental variables, ultraviolet radiation is an important factor in plant response to other stresses, such as deficit irrigation. The purpose of this study was to investigate the effects of ultraviolet B radiation (UV-B), irrigation stress and combined effects of UV-B radiation and deficit irrigation on the morphological and biochemical responses of two basil species. Five treatments of UV-B radiation duration (0, 5, 10, 15 and 20 minutes per day) as well as four irrigation levels (100, 75, 50 and 30% of field capacity), two green and violet types of basil, based on a factorial experiment in a completely randomized design, were considered. Results indicated that the effects of duration of UV-B radiation, drought stress and basil type as well as their interaction on morphological and biochemical responses of both basil types were significant. At the highest level of UV-B radiation (i.e., 20 min/day), the measured traits such as photosynthetic pigments decreased by 18.2%, stem height by 11.2% and root length by 10.1% as compared to control, and the other traits such as leaf thickness increased significantly by 32.3%, malondialdehyde (MDA) content by 7.6%, anthocyanin by 40.6% and proline content by 19.1% as compared to control. While leaf area, number of leaves, root and shoot dry weights were firstly increased by radiation duration and then were reduced as compared to control. Five-minute irradiation treatment increased the stem dry weight (5.8%), leaf area (9.3%) and number of leaves (10.0%) as compared to the control. Deficit irrigation stress had 46.3% greater effect than UV-B radiation in reducing the measured basil characteristics. Simultaneous use of UV-B radiation and deficit irrigation prevented the reduction of growth factors due to low irrigation stress, indicating a synergistic state.

**Keywords:** Anthocyanin, Drought stress, Leaf area, Chlorophyll, Ultraviolet radiation.

---

1. Dept. of Hort. Sci., Gorgan Univ. of Agric. Sci. and Nat. Resour., Gorgan, Iran.

\* Corresponding Author, Email: [hosszareih@yahoo.co.uk](mailto:hosszareih@yahoo.co.uk)